



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**VIRTUÁLNÍ TESTOVÁNÍ AUTONOMNÍCH VOZIDEL**

VIRTUAL TESTING OF AUTONOMOUS VEHICLES

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Lucie Matušková

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Porteš, Ph.D.

**BRNO 2021**



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Studentka: **Lucie Matušková**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Petr Porteš, Ph.D.**  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Virtuální testování autonomních vozidel

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na virtuální testování autonomních vozidel a asistenčních systémů. Vývoj autonomních vozidel je doprovázen zvyšujícími se požadavky na testování vozidel a to v takovém rozsahu, že se bez automatizace testů a virtuálního testování nebude možné obejít.

### Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je popsat softwary používané pro virtuální testování vozidel, jejich účel, skladbu a způsob práce s nimi.

### Seznam doporučené literatury:

CHENG, H. Autonomous Intelligent Vehicles: Theory, Algorithms, and Implementation (Advances in Computer Vision and Pattern Recognition). Springer, 2011. ISBN 978-1-4471-2279-1.

ÖZGÜNER, Ü., ACARMAN, T., REDMILL, K. A. Autonomous ground vehicles. Boston: Artech House, c2011. Intelligent transportation systems. ISBN 978-1-60807-192-0.

DUPIUS, M., CASTIGNANI, L., HANNA, K. Virtual Test Drive 2020. E-book [online]. [cit. 2020-10-17]. Dostupné z: <https://www.mscsoftware.com/Virtual-Test-Drive-2020>.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá virtuálnímu testování autonomních vozidel. V teoretické části je popsáno autonomní vozidlo, problematika testování autonomních vozidel. Dále je práce zaměřena na popis softwarů ADAMS Car a Virtual test drive. Virtual test drive je popisován z největší části, protože obsahuje i praktickou část práce, kterou je práce se softwarem.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Autonomní vozidlo, virtuální testování autonomních vozidel, ADAMS CAR, Virtual test drive

## ABSTRACT

This bachelor thesis deals with virtual testing of autonomous vehicles. The theoretical part describes an autonomous vehicle, the issue of testing autonomous vehicles. Furthermore, the work is focused on the description of ADAMS Car software and Virtual test drive. The virtual test drive is described for the most part, because it also contains a practical part of the work, which is working with the software.

## KEYWORDS

Autonomous vehicle, virtual testing of autonomous vehicles, ADAMS CAR, Virtual test drive

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MATUŠKOVÁ, L. *Virtuální testování autonomních vozidel*. Brno, 2021. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 40 s. Vedoucí diplomové práce Petr Porteš.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Petra Porteše, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 21. května 2021

.....

Lucie Matušková

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych zde poděkovala mému vedoucímu práce panu doc. Ing. Petrovi Portešovi, Ph.D za čas, ochotu a odborné rady, jenž mi věnoval. Zároveň bych chtěla poděkovat firmě MSC Software za půjčení softwaru za účelem zpracování této práce.



# OBSAH

<b>Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>1 Autonomní vozidlo.....</b>	<b>11</b>
1.1 Úrovně autonomního řízení .....	11
1.1.1 Úroveň 0-Bez automatizace.....	11
1.1.2 Úroveň 1-Asistence při řízení.....	12
1.1.3 Úroveň 2-Částečná automatizace .....	12
1.1.4 Úroveň 3 -Podmíněná autonomie .....	12
1.1.5 Úroveň 4-Vysoká autonomie.....	12
1.1.6 Úroveň 5-plná autonomie .....	12
<b>2 Virtuální testování Autonomních vozidel.....</b>	<b>13</b>
<b>3 Softwary.....</b>	<b>14</b>
3.1 ADAMS CAR.....	14
3.1.1 Car ride .....	14
3.1.2 Car truck .....	14
3.1.3 Driveline .....	15
3.1.4 SmartDriver .....	15
3.1.5 Tire .....	15
3.1.6 3D Road.....	15
3.2 Virtual test drive (VTD).....	15
3.2.1 Popis prostředí .....	16
3.2.2 Senzory .....	25
<b>4 Simulace vytvořené ve VTD.....</b>	<b>29</b>
4.1 Vliv rychlosti na vyhnutí chodce .....	29
4.1.1 1.část simulace -vozidlo jedoucí rychlostí 40 km/h. ....	31
4.1.2 2.část simulace -vozidlo jedoucí rychlostí 50 km/h. ....	32
4.1.3 3.část simulace -vozidlo jedoucí rychlostí 70 km/h. ....	33
4.2 Nastavení semaforu.....	34
<b>Závěr .....</b>	<b>37</b>
<b>Seznam použitých zkratk a symbolů.....</b>	<b>39</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>40</b>

## ÚVOD

V současné době jsou vkládány velké naděje do autonomních vozidel, které by mohly změnit svět, tak jak ho známe. Pro využití autonomních vozidel v reálném světě je zapotřebí velkého množství testů a vývojů, a proto se klade velký důraz na testování, a především ve virtuálním světě. Pro virtuální testování je zapotřebí mnoho druhů softwarů.

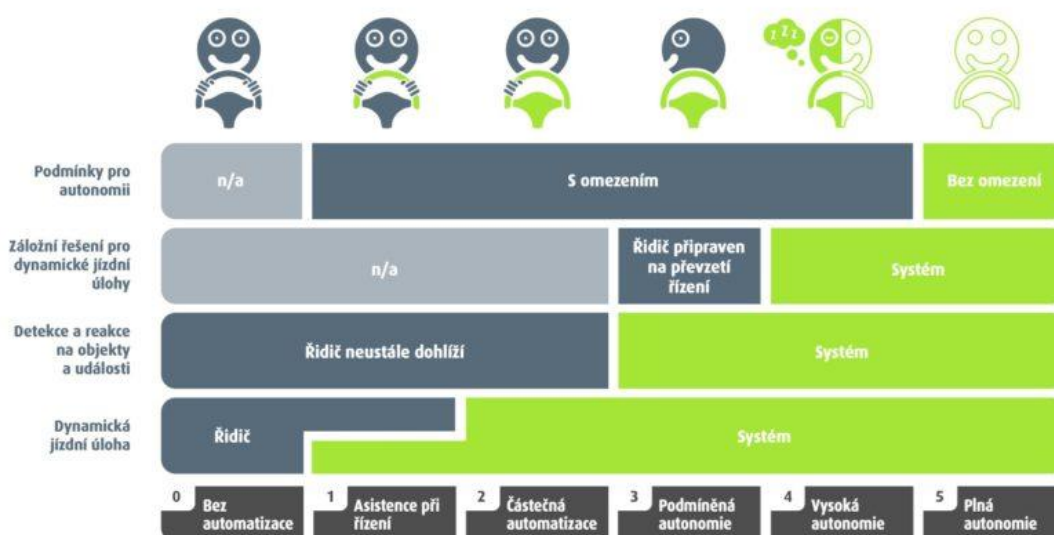
Bakalářská práce se zabývá softwary pro testování autonomních vozidel, především je zaměřená na software Virtual test drive (VTD), se kterým jsem měla možnost v rámci bakalářské práce pracovat.

# 1 AUTONOMNÍ VOZIDLO

Autonomní auto (dále jen AV) dle [1] je vozidlo, které je schopno snímat své prostředí a navigovat bez lidského zásahu. Vozidla využívají technologie a senzory k identifikaci vhodné trasy, překážek v cestě, rozeznání dopravních značek. AV mají spoustu výhod, [2] mezi nejvýznamnější patří například zmenšení dopravní zácpy (o 30 % méně vozidel na silnicích), snížení nákladů na dopravu, uvolnění parkovišť pro jiné účely (např. školy, parky) nebo snížení emisí až o 80 % po celém světě.

## 1.1 ÚROVNĚ AUTONOMNÍHO ŘÍZENÍ

Na obrázku 1 jsou popsány stupně úrovně autonomního vozidla definované organizací SAE International (Society of Automotive Engineers).



Obrázek 1 Úrovně AV dle SAE, Jiří Böhm[3]

### 1.1.1 ÚROVEŇ 0-BEZ AUTOMATIZACE

Patří sem všechna vozidla, bez jakékoliv autonomní asistence. Řidič má nad vozidlem plnou kontrolu. Auto může být vybaveno různými varováními a upozorněními například upozornění na námrazu, pokud jsou teploty kolem nuly.

### **1.1.2 ÚROVEŇ 1-ASISTENCE PŘI ŘÍZENÍ**

Vozidlo může obsahovat funkce, ale během jízdy může využívat pouze jednu funkci. Typickým příkladem úrovně 1 je adaptivní tempomat, který udržuje rychlost a rozestupy mezi autem vpředu.

### **1.1.3 ÚROVEŇ 2-ČÁSTEČNÁ AUTOMATIZACE**

2. úroveň je v podstatě stejná jako úroveň 1, ale u úrovně 2 můžeme kombinovat funkce. Auto může například samo zrychlovat nebo zpomalovat a u toho točit volantem. Příkladem může být třeba parkovací asistent.

### **1.1.4 ÚROVEŇ 3 -PODMÍNĚNÁ AUTONOMIE**

Při této úrovni může systém převzít kontrolu nad vozidlem, ale řidič musí být vždy připraven převzít kontrolu.

### **1.1.5 ÚROVEŇ 4-VYSOKÁ AUTONOMIE**

Systém přebírá kontrolu nad vozidlem, řidič může mít kontrolu nad vozidlem, ale není to nutné. Výjimkou je špatné počasí. V této úrovni si umí vozidlo dle [4] poradit i v případě, že vyzve člověka k řízení a on nereaguje. Auto může samo bezpečně zastavit.

### **1.1.6 ÚROVEŇ 5-PLNÁ AUTONOMIE**

Vozidlo zvládá všechny situace zcela samo bez asistence člověka. Vozidlo nemá volant.

## 2 VIRTUÁLNÍ TESTOVÁNÍ AUTONOMNÍCH VOZIDEL

Pro použití AV v reálném světě je zapotřebí jej otestovat. Aby se mohlo spolehlivě prokázat, že AV jsou bezpečná, je zapotřebí vytvořit mnohonásobně větší počet najetých kilometrů, než dokážou ujet běžná vozidla v reálném provozu. Potřebný počet otestovaných kilometrů může být až několik miliónů. Z takového množství dat je možné statisticky vyhodnotit důvěru AV. Z tohoto důvodu nestačí pouze provádět fyzické testování, ale i virtuální testování. Ve virtuálním prostředí lze dle [5] nasimulovat až desítky tisíc kilometrů denně.

Existují i další důvody pro důležitost virtuálního testování. Ve virtuálním prostředí nejsou zapotřebí vysoké investice pořízení aut s veškerými funkcemi a senzory, nebo majetku určeného k testování. Ve fyzickém testování je zapotřebí mnoho pracovníků, u kterých je těžké zajistit jejich bezpečnost.

Ve virtuálním světě je zapotřebí pouze software a počítače k vytváření simulací. Jakákoliv změna parametrů, například rozměr nebo podmínka, způsobí, že předem vytvořené simulace se musí restartovat a je potřeba začít od začátku. Ve fyzickém světě by takové testování probíhalo velmi pomalu.

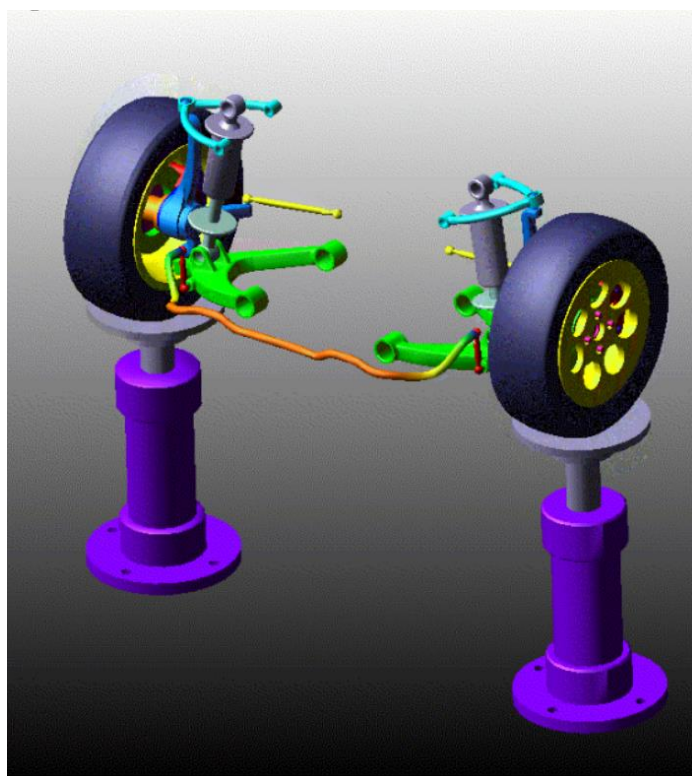
Virtuální testování má i nevýhody oproti fyzickému testování. Největší problém je osvětlení a podmínky vytvářené počasím. Déšť, sníh, nebo zářivé slunce jsou důvod, proč některé systémy, především senzory, mohou mít nižší funkčnost. V softwaru lze takové podmínky nastavit, ale ve fyzickém testování jsou testy funkcí mnohem přesnější.

Bez simulací ve virtuálním světě se autonomní vozidla neobejdou, a proto je na tuto oblast kladen velký důraz.

## 3 SOFTWARE

### 3.1 ADAMS CAR

Software vyvinutý společností MSC Software slouží pro analýzu a testování dynamiky vozidel a jejích součástí využívající multi-body formalismus. Dokáže snížit náklady, čas i riziko vývoje automobilů a zlepšuje kvalitu konstrukcí vozidel. Mohou se v něm provádět návrhy vozidel při různých podmínkách silnic a testy stejné, jaké se provádějí v laboratořích, ale za nižší náklady. Umožňuje zkoumat vliv součástí na dynamiku, například pružin, tlumičů nebo pouzdra. Na obrázku 2 vidíme ukázkou testování nápravy automobilu.



*Obrázek 2 ukázka simulace nápravy v softwaru ADAMS CAR[6]*

Dle [7] obsahuje ADAMS CAR několik modulů k rozšíření funkcí softwaru:

#### 3.1.1 CAR RIDE

Modul umožňující analýzu svislé dynamiky a jízdních vibrací. Umožňuje analýzu ve frekvenční oblasti.

#### 3.1.2 CAR TRUCK

Modul sloužící pro testování těžko nákladních vozidel a autobusů. Jsou zde opatřeny prvky typické pro tuto skupinu aut, jako jsou dvojítá kola. Může zde testovat i odpružení velkých aut.

### 3.1.3 DRIVELINE

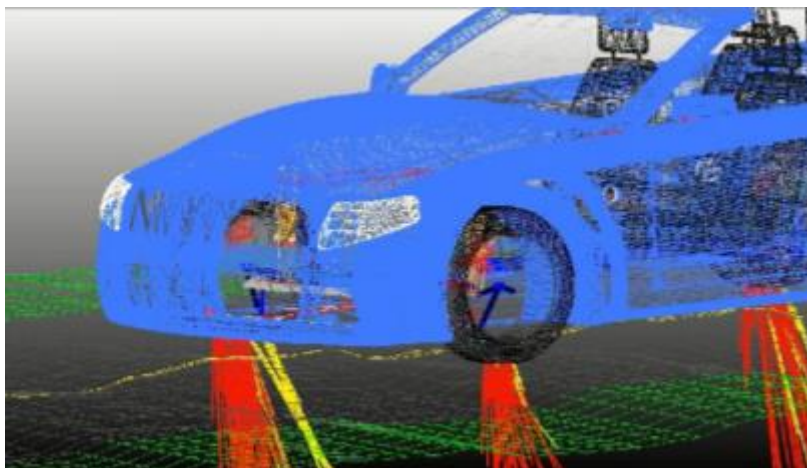
Modul zaměřený na hnací ústrojí auta umožňuje simulace komponent a dynamického chování celého hnacího ústrojí během různých provozních podmínek. Může být využito pro zkoumání interakce mezi součástmi hnacího ústrojí a podvozku, například odpružení, brzdy, karoserie vozidla nebo systém řízení.

### 3.1.4 SMARTDRIVER

Se využívá v simulacích k řízení vozidla po zadané trajektorii. Počítá rychlostní profil pohybu vozidla po zadané dráze na hranici jeho jízdních limitů. Lze v něm nasimulovat limit výkonu. Využívá se především pro závodní automobily.

### 3.1.5 TIRE

Poskytuje matematické modely pneumatik pro simulaci jízdy vozidla, jako je manévrost, brždění, řízení, zrychlení, volnoběh nebo smyk. Umožňuje také modelovat síly a momenty působící na pneumatiku viz obrázek 3.



*Obrázek 3 simulace modelu pneumatik [7]*

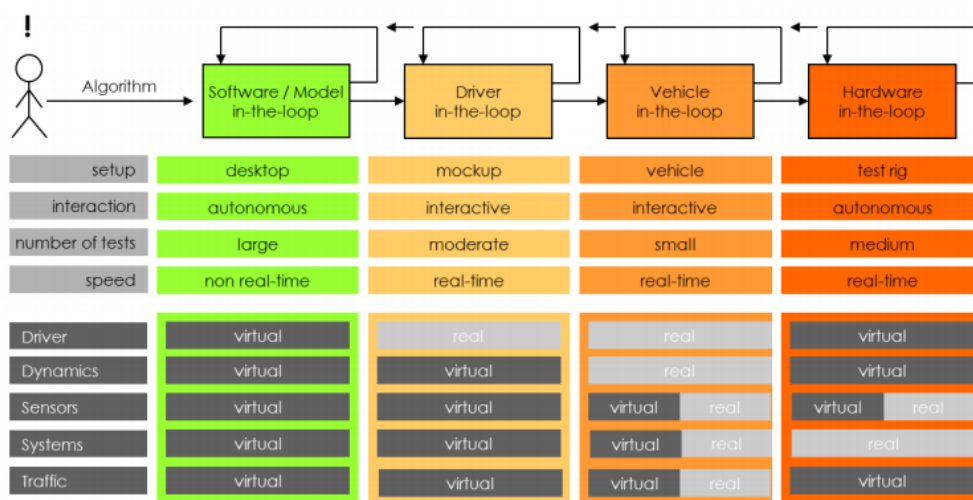
### 3.1.6 3D ROAD

Slouží pro simulaci trojrozměrných silnic, jako jsou například dálnice, závodní dráhy, zkušební dráhy nebo parkoviště. Pomáhá studovat vlastnosti silnic jako je úhel náklonu a sklon, které mají vliv na dynamiku vozidla. Umožňuje testovat vlastní trať.

## 3.2 VIRTUAL TEST DRIVE (VTD)

VTD je používán pro tvorbu, konfiguraci a animaci virtuálního prostředí, které slouží pro testování a vývoj ADAS (asistenční systémy řidiče) a systémů aktivní bezpečnosti. Využívá formáty souborů typu: OpenDRIVE, OpenSCENARIO a OpenCRG. VTD Obsahuje dynamické prvky z ADAMS software. Umožňuje vytvářet scénáře ve kterých je zahrnutá dynamika vozidla, senzory, předměty a chodci. Pomocí něj lze posoudit výkon z hlediska bezpečnosti, pohodlí nebo účinnosti. Součástí VTD je kompletní sada senzorů (RADAR, lidar, kamery, ultrazvukový senzor).

Lze vytvořit 3D virtuální prostředí pomocí softwaru nebo ho lze naskenovat pomocí kamer a lidarů, tato možnost je rychlejší a realističtější, ale neumožňuje plnou kontrolu nad všemi detaily. Software lze nakonfigurovat tak, aby zahrnoval různé softwarové a hardwarové moduly viz obrázek 4.



Obrázek 4 algoritmy přístupů[8]

**Software/model in-the-loop (software/model ve smyčce)** - celá simulace probíhá virtuálně.

**Driver in-the-loop (řidič ve smyčce)** - Sloučí pro testování řidičských schopností a vlastností. Řidič sedí v simulátoru.

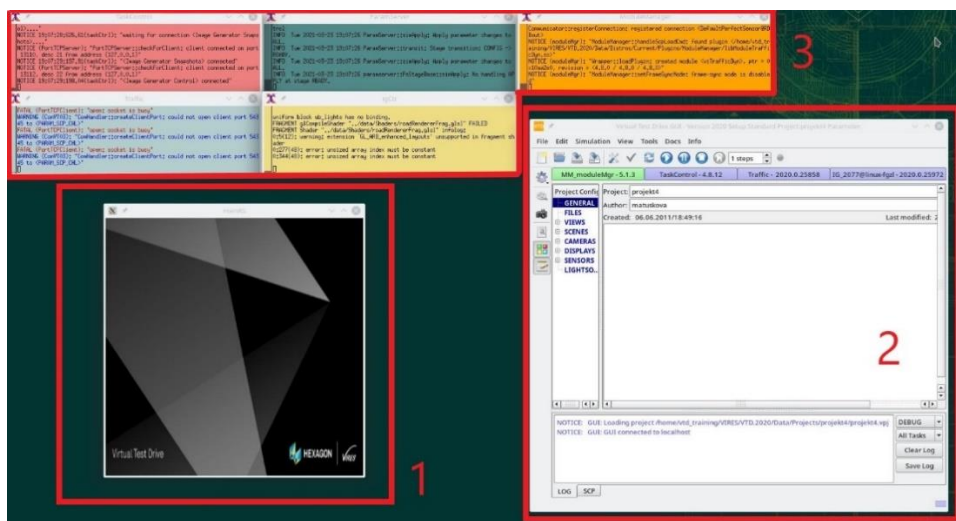
**Vehicle in-the-loop (vozidlo ve smyčce)** - Slouží pro simulace ve skutečném vozidle s řidičem, které jede po určené dráze a scénáře jsou mu promítány přes monitor. Umožňuje provádět realistické testy.

**Hardware in-the-loop (hardware ve smyčce)** – Využívá se pro testování systému a senzorů

### 3.2.1 POPIS PROSTŘEDÍ

VTD využívá operační systém LINUX. Software umožňuje pracovat ve 2 rozhraní, kterými jsou SCP (Simulation control protocol), který využívá XML soubory, a RDB (Runtime data bus). Po spuštění softwaru se zobrazí několik oken, mezi kterými je dle obrázku 5 na pozici 1 Main RS, na pozici 2 grafické uživatelské rozhraní (dále jen GUI), sloužící k animaci simulace a několik oken na pozici 3 zaznamenávající průběh simulace (TaskControl, Paramserver, Traffic, igCtr, modulemanager).

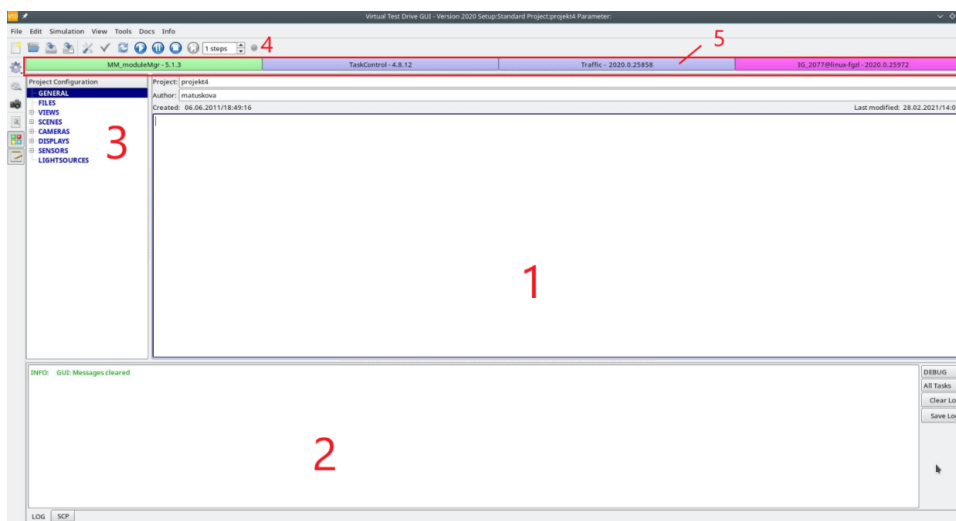




Obrázek 5 prostředí VTD po spuštění softwaru

## VTD GUI

GUI (obrázek 6) je hlavní okno celého softwaru, umožňuje vytváření, spuštění nebo zastavení projektů a simulací, v nich obsažené. Umožňuje chod celého softwaru.



Obrázek 6 grafické uživatelské rozhraní

GUI obsahuje 5 oblastí:

- 1-oblast pro popis projektu od autora
- 2-okno pro hlášení zpráv, například chyby při simulaci.
- 3-panely pro nastavení simulací

Druhy panelů jsou:

FILES-panel obsahující všechny soubory, které jsou využity v projektu včetně scénářů a databází.

VIEWS-Slouží k nastavení pohledů animací, můžeme si zde zvolit několik pohledů například pohled řidiče, ze shora, nebo pohled z místa umístění senzoru. Konkrétní pohled se dá i posunout nebo pootočit.

SCENES-Prostor pro konfiguraci okolí, lze zde nastavit počasí, stav vozovky (jestli má být suchá nebo mokrá), délka dohledu, nebo součinitel tření vozovky. Nastavují se zde i senzory, které mají být použity ve scéně, a jestli má být viděn na animaci rozsah zorného pole senzorů ve tvaru kužele.

CAMERAS-panel slouží pro nastavení rozsahu animace, do jaké délky by měla jít animace vidět, nebo z jakého úhlu.

DISPLAY-Slouží pro nastavení okna MAIN RS

SENSORS-panel sloužící pro nastavení senzorů.

LIGHTSOURCE-slouží pro nastavení zdroje světla.

- 4-funkce pro spouštění, zastavení a jiných akcí projektu. Na svislém panelu obsahuje 3 módy spouštění simulace.



preparation – využívá zjednodušený model pro ovládání jednoho vyhrazeného hráče.

Operation – simulace se spouští ve své cílové konfiguraci, tj pomocí cíle hráče, nebo komplexní dynamiky



Replay-simulace se zde přehrává snímek po snímku.

- 5-oblast pro zobrazení stavu úkolů. Každý úkol, který hraje roli v simulaci se ukazuje v této oblasti a je zobrazen barvou, která má konkrétní význam, například zelená barva značí, že úkol běží, žlutá barva značí, že úkol čeká.

V záložce Tool, která je umístěna v horním panelu najdeme 2 hlavní nástroje – ROD a Scenario editor, které slouží k vytváření a konfiguraci scénářů.

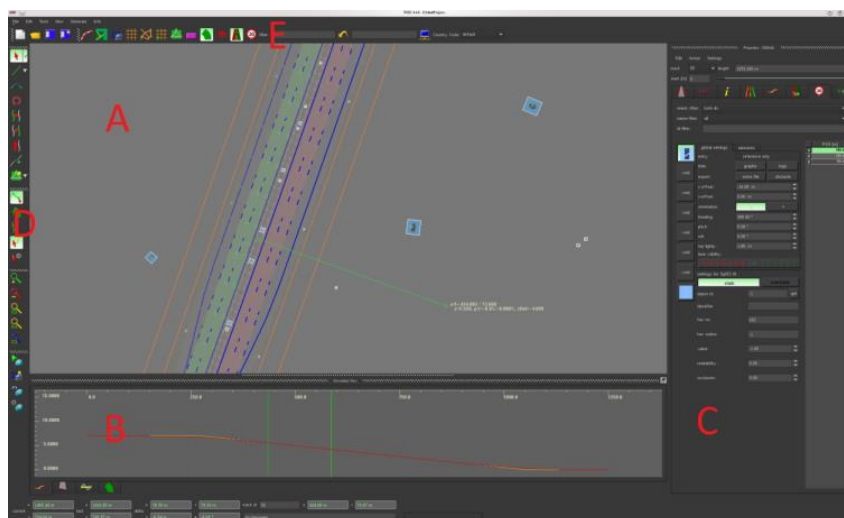
## ROAD DESIGNER (ROD)

ROD je editor pro vytváření silničních sítí. Návrh je prováděn z ptáčích perspektivy. Průběh silnic je popsán pomocí referenční přímky viz obrázek 7, která se skládá z několika geometrických tvarů, například čáry nebo křivky. Všechny vlastnosti silnic jako je šířka nebo značení se provádí podél této referenční čáry.



Obrázek 7 ukázka referenční křivky[9]

Prostředí ROD:



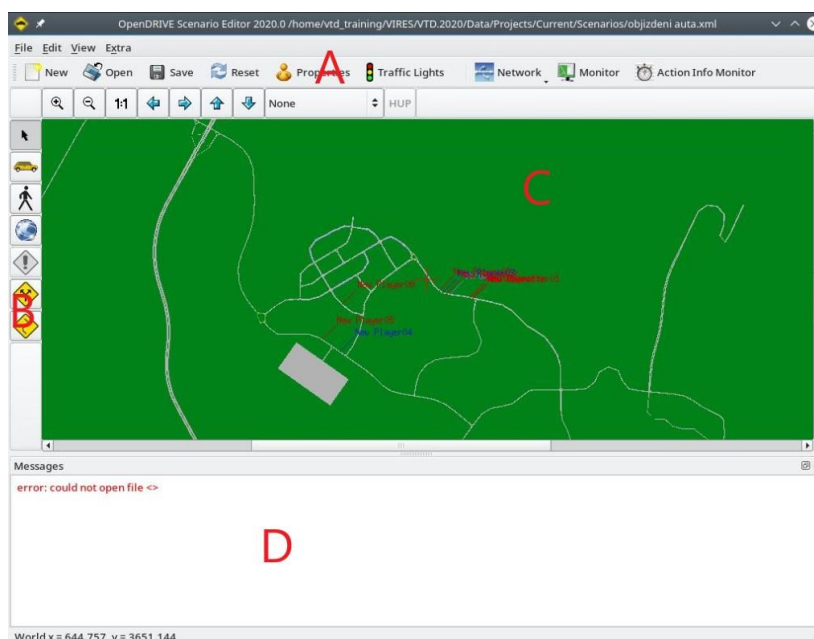
Obrázek 8 prostředí ROD[9]

Hlavní okno (obrázek 8) se skládá z 5 pracovních oblastí:

- A) Prostředí, ve kterém může uživatel kreslit, upravovat nebo mazat silnice a objekty.
- B) Okno pro zobrazování dalších informací o silnicích jako je nadmořská výška nebo převýšení.
- C) Okno pro nastavení vlastností, zobrazí se po kliknutí na určitou silnici.
- D) Panel sloužící pro úpravy silniční sítě. Obsahuje operace např. výběr, přesun a kreslení silnice.
- E) Panel po načítání a ukládání silnicí. Slouží pro nastavení viditelnosti silnice.

## SCENARIO EDITOR (EDITOR SCÉNÁŘŮ)

Nástroj určený k vytváření a úpravě scénářů. Lze v něm definovat vozidlo s veškerými vlastnostmi, jako je dynamika vozidla. Umožňuje definovat osobu, její činnost a směr kterým se pohybuje, nebo předmět.



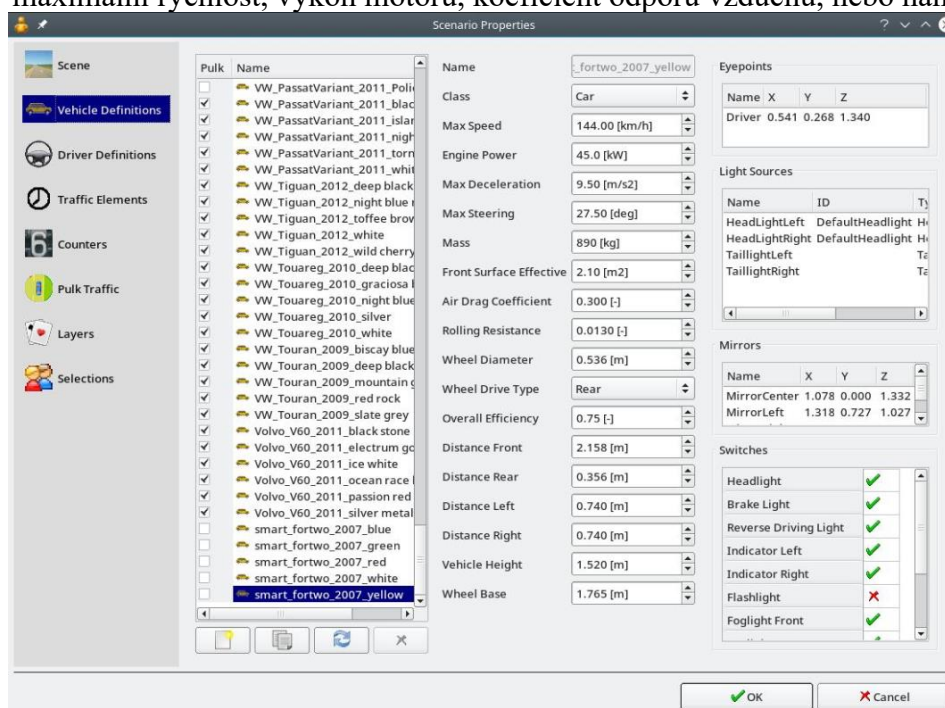
Obrázek 9 Editor scénářů

Na obrázku 9 jsou znázorněny 4 hlavní oblasti editoru scénářů, kterými jsou:

- A) Panel sloužící pro nastavení vlastností vozidel, osob, předmětů a akcí. Umožňuje ukládání a načítání silničních sítí. Lze nastavit funkci ptací perspektivy, kdy sledujeme hráče, nebo sledovat podrobné údaje hráče přes funkci monitor. Obsahuje několik důležitých funkcí, mezi které patří Properties a Traffic lights.

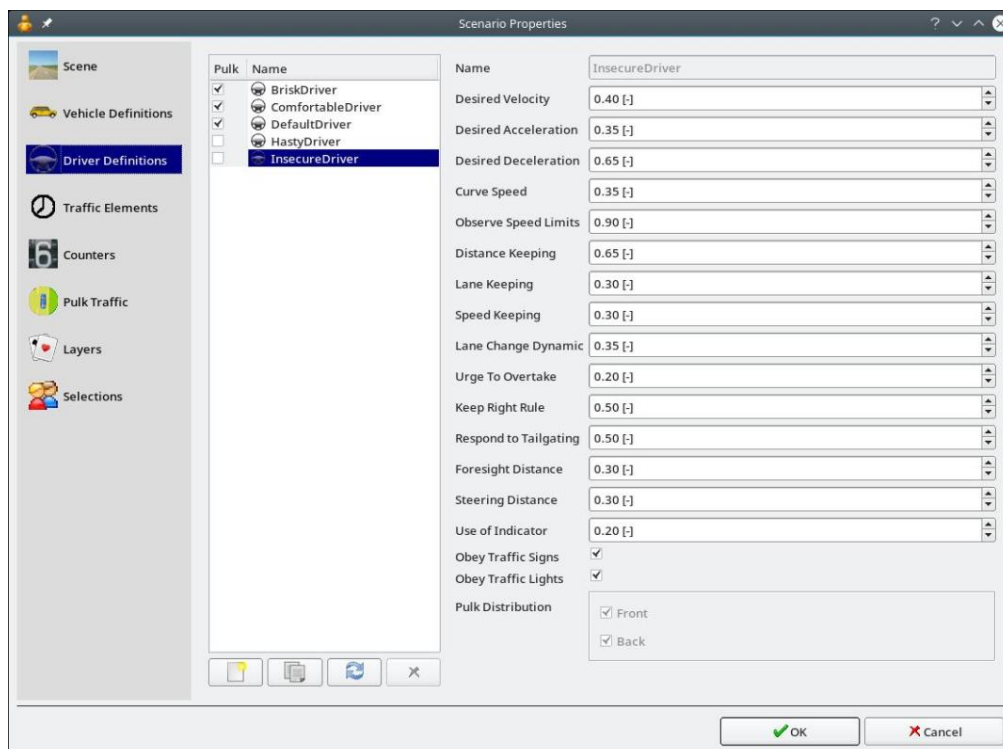
## PROPERTIES

- SCENE-slouží pro nastavení prostředí a silnice z databáze
- VEHICLE DEFINITIONS (obrázek 10) -databáze vozidel převzatá z ADAMS CAR, ve kterých jsou předdefinované vlastnosti vozidel, ale mohou se změnit například maximální rychlost, výkon motoru, koeficient odporu vzduchu, nebo náhon kol.



Obrázek 10 Vehicle definitions

- DRIVER DEFINITIONS (obrázek 11) - panel pro nastavení chování řidiče. V databázi je na výběr několik typů řidičů např. svižný, pohodlný, spěchající nebo nejistý. Každý z nich má odlišné vlastnosti, mezi které se řadí například rychlost v zatáčkách, dodržování rychlostí, dodržování rozestupů, nebo nutkání předjíždět.

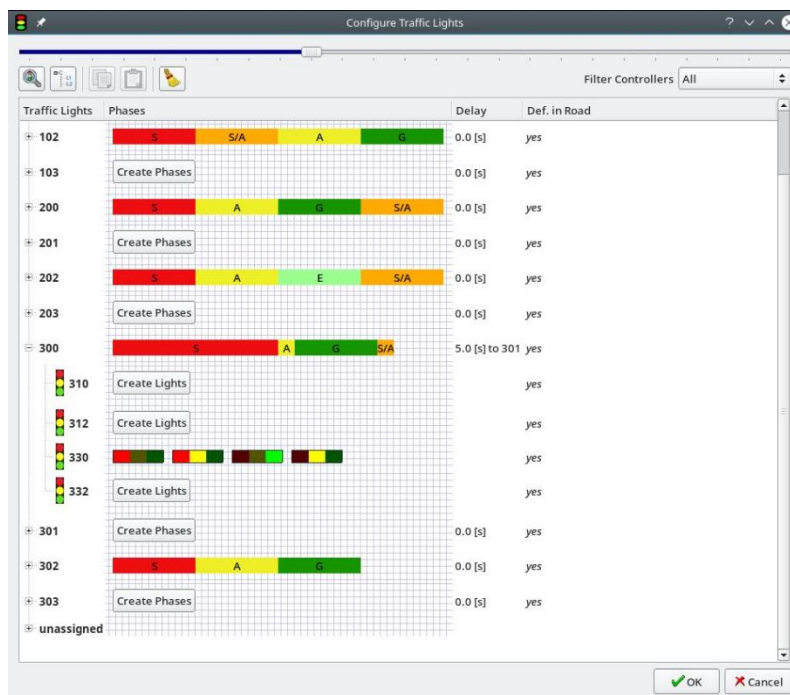


Obrázek 11 Driver definitions

- TRAFFIC ELEMENTS-slouží pro nastavení akce například změna jízdního pruhu.
- COUNTERS-poskytuje možnost definovat různé proměnné pro použitou simulaci například počítadlo kol.
- PULK TRAFFIC-panel umožňující nastavení hustoty provozu kolem konkrétního vozidla, lze nastavit počet vozidel, typy vozidel (auto, autobus, motorka, kolo, aj.). Tyto vozidla jsou uměle vytvořená a jezdí autonomně, v důsledku toho nejdou nijak ovládat.
- LAYERS-slouží pro uspořádání členů simulace. Je to užitečné především ve složitých scénářích.
- SELECTIONS-panel, ve kterém jsou všichni členi seskupeni podle druhů.

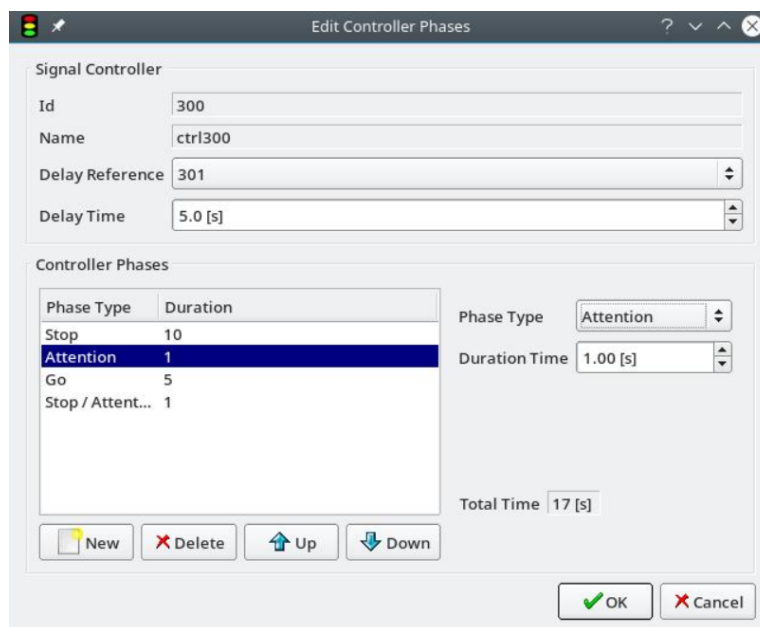
### TRAFFIC LIGHTS

Funkce, která slouží pro nastavení semaforů. Pomocí ní lze nakonfigurovat barvy, čas intervalu a spuštění, nebo typ semaforu. Na obrázku 12 lze vidět prostředí konfigurace Traffic lights, kde vidíme číselné označení semaforů a jejich nastavené barevné kombinace.



Obrázek 12 nastavení semaforů

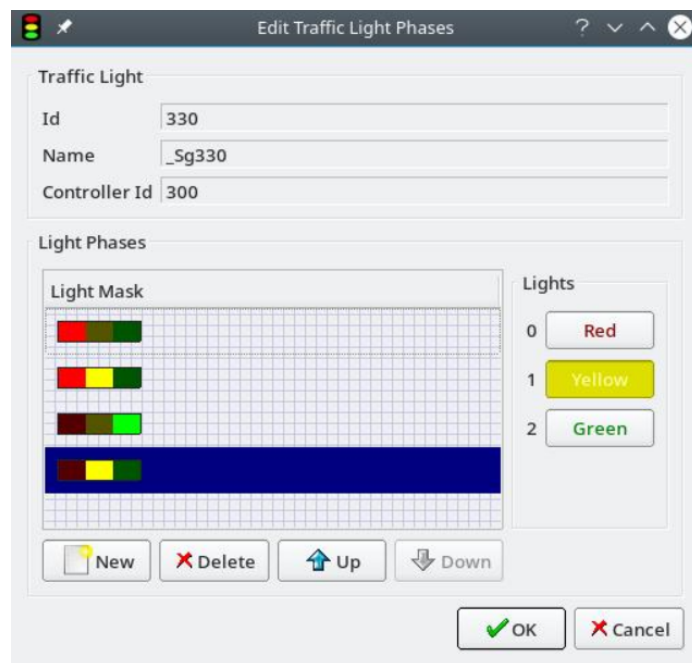
Semaforů jsou rozděleny do kategorie, podle číselného názvu křižovatky. Na obrázku lze vidět 4 semaforů na křižovatce s označením 300. Rozkliknutím názvu křižovatky se otevře okno pro nastavení kombinace barev a čas intervalu. viz obrázek 13.



Obrázek 13 nastavení semaforu



U každého semaforu je potřeba nastavit pořadí barev. Rozkliknutím konkrétního semaforu se otevře editační okno (obrázek 14), ve kterém je zvoleno počet intervalů barev a vybrán typ světla pro každý z nich. V každém intervalu může být zvolena některá ze 3 definovaných barev, a dokonce i jejich kombinace. Kombinací se rozumí například červená se žlutou, která dává řidiči najevo, že se může připravit k jízdě.



Obrázek 14 editor barev semaforu

Kromě klasických barev červená, žlutá a zelená lze nastavit blikající semafor nebo semafor mimo provoz.

**B)** Panel určený pro operace s vozidly, osobami a předměty. Obsahuje nástroj pro vytváření a konfigurace trasy jednotlivých členů.



Kurzor pro manipulaci ve scénáři



Nástroj pro přidání vozidla do scénáře



Nástroj pro přidání chodce do scénáře



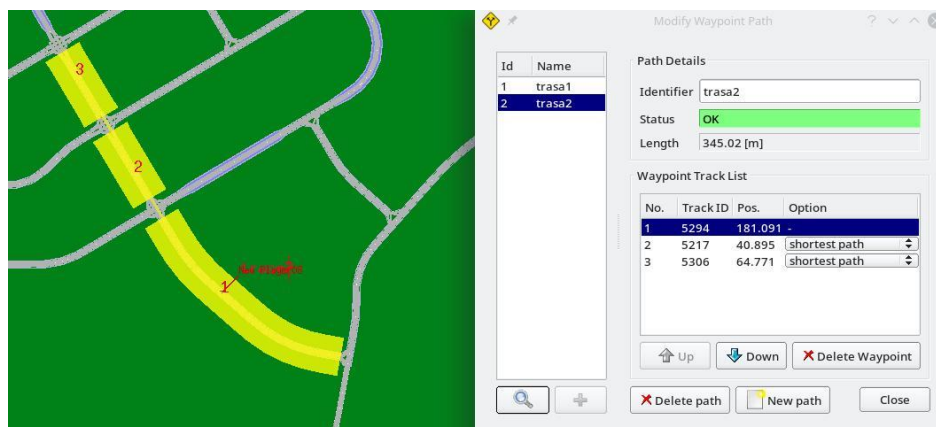
Nástroj pro přidání objektu do scénáře, VTD má databázi objektů. V databázi lze nastavit pouliční osvětlení, výstražný kužel, nebo provozní odlehčovací brzdu.



Slouží pro přidání akce k hráči, dá se definovat i v nastavení konkrétního hráče.



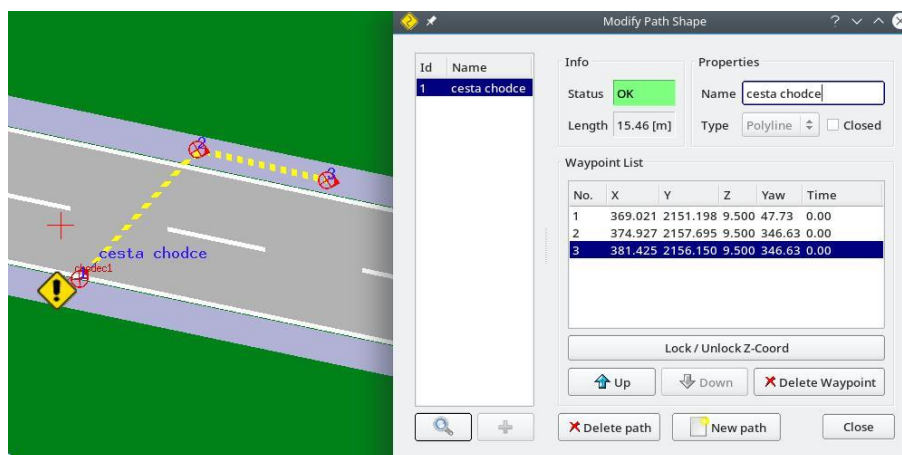
Nástroj pro vytváření trasy. Trasu si zvolíme kliknutím na části silnic, které chceme definovat jako trasu. Na obrázku 15 lze vidět nastavení trasy auta, které jede přes křižovatky. Je definovaná pomocí 3 bodů a zvoleny nejkratší trasy. Kromě nejkratší cesty lze nastavit klasickou, nejdelší nebo trasu s nejméně křižovatkami.



Obrázek 15 Nastavení trasy



Nástroj pro definování křivky cesty, využíváno především pro trasu chodce. Vznikne klikáním ve scénáři dle námi zvolené tratě, na obrázku 16 lze vidět definovanou křivku 3-mi body. Nástroj umí vypočítat délku tratě, v tomto případě 15,46 metrů.



Obrázek 16 Nastavení křivky

- C) Okno slouží k umisťování a dalším pohybům se všemi členy, je to grafické vytvoření scénáře. Kliknutím na jakékoliv místo v této ploše se objeví nástroje pro měření vzdálenosti nebo zvýraznění jízdního pruhu. Kliknutím na konkrétního hráče se zobrazí nastavení jeho vlastností, ve kterých lze nastavit jméno, typ vozidla nebo chodce, pozici a akci.

Akce vozidel mohou být:

- Autonomous-hráč má autonomní chování, může pouze přerušit jízdní pruh nebo změnit rychlost
- Lane change-funkce pro změnu jízdního pruhu
- Speed change-umožňuje hráči změnit rychlost
- SCP-pomocí něj lze použít soubor formátu XML
- Counter-slouží pro spuštění proměnné definované v editoru scénáře



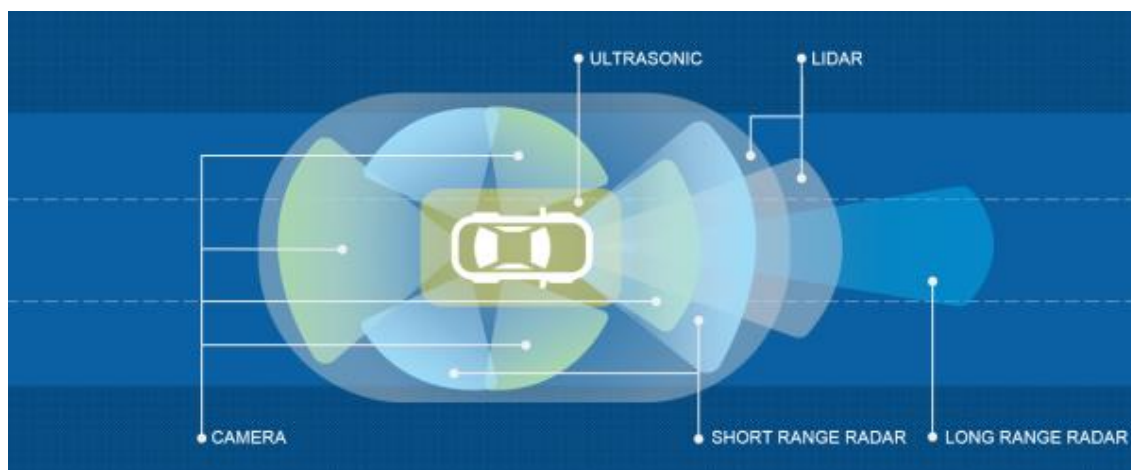
Akce se mohou nastavit i u chodců a jsou to:

- Motion-slouží pro nastavení pohybu chodce, jsou zde předdefinované pohyby například chůze, běh, nebo stání na místě.
- Path Shape-akce pro nastavení pohybu chodce po předem definované trase.
- Gesture-umožňuje nastavit gesto chodce. K dispozici je databáze, která obsahuje například telefonování, mávání rukou, nebo jíst svačinu.
- SCP-pomocí něj lze použít soubor formátu XML
- Counter-slouží pro spuštění proměnné definované v editoru scénáře

**D)** Okno zpráv sloužící pro oznamování informací o scénáři a hlášení chyb.

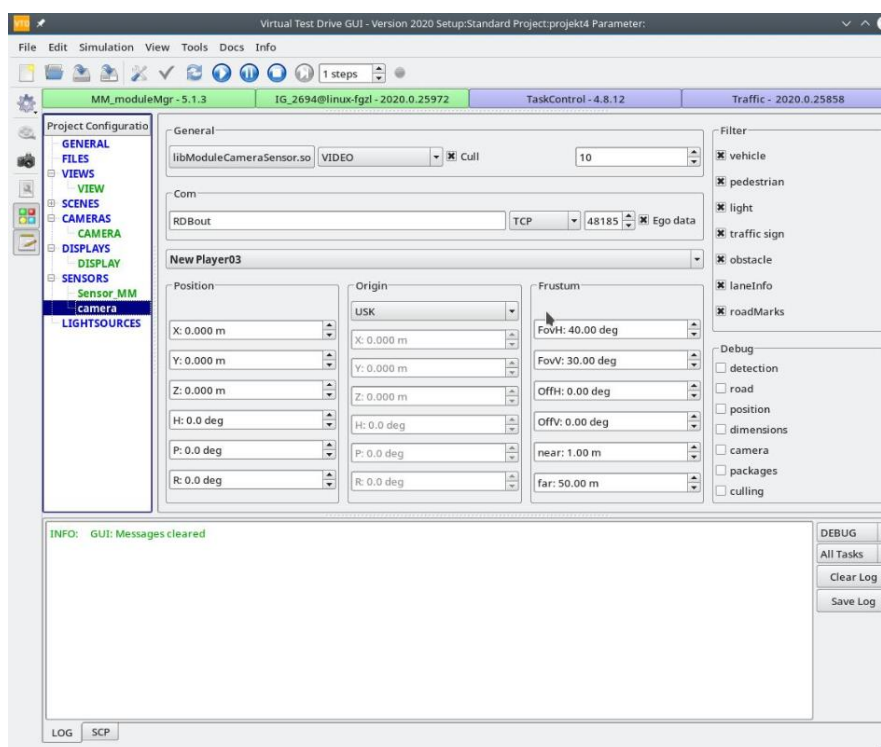
### 3.2.2 SENZORY

Slouží k nahrazení lidských smyslů pomocí několika druhů dle obrázku 17. Mezi nejběžnějšími senzory, kterými je AV vybaveno jsou kamera, ultrazvuk, lidar a radar.



*Obrázek 17 popis senzorů v autonomním vozidle [10]*

VTD má panel pro nastavení senzorů, ve kterém lze nastavit senzory. Každý senzor má své okno nastavení dle obrázku 18. Konkrétní senzor se musí aktivovat a vybrat v panelu SCENES, přičemž může být více než jeden aktivní. V databázi jsou předdefinované druhy senzorů, které si může uživatel nakonfigurovat pomocí RDB a SCP dle vlastní potřeby.



Obrázek 18 panel senzorů ve VTD

Pro každý senzor lze nastavit:

- pozici
- rozsah zorného pole
- pro jakého hráče má být nastaven
- které objekty má zaznamenávat (silniční čáry, dopravní značky, chodce, vozidla, aj.)

## KAMERA

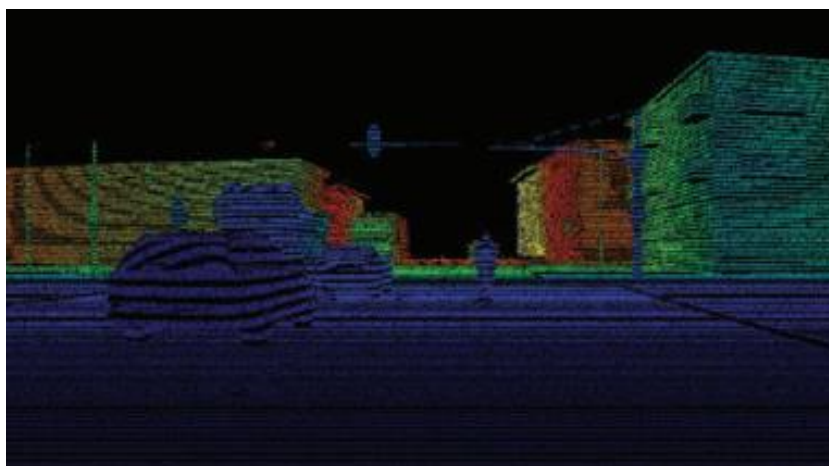
Kamera je nejběžněji používaný senzor v autonomních vozidlech díky nízké ceně a snadné instalaci. Kamery mohou oproti jiným senzorům zjistit vlastnosti objektu jako je barva nebo struktura. Na obrázku 19 lze vidět ukázkou senzoru z VTD, v tomto případě je zvolena kamera s radarem, protože samotný senzor kamera není v databázi programu. Kamera zaznamenává objekt, v tomto případě pomocí obdélníku a trojúhelníku.



Obrázek 19 prostředí zaznamenané kamerou ve VTD

### LIDAR

Senzor pracuje na principu laseru, kde laserový paprsek vystřelí na objekt a pomocí vypočítaného času, kdy paprsek dorazí k objektu a zpátky, změří lidar vzdálenost. Lidaru může vytvořit 3D obraz, pomocí paprsků vystřelujících do všech stran, jak je znázorněno na obrázku 20. Rozsah lidarů je nižší než u radaru. Lidary jsou těžké, objemné a drahé a při nepříznivém počasí jako je déšť nebo sníh může mít lidar nižší přesnost.



Obrázek 20 prostředí vozidla vygenerované pomocí lidarů ve VTD [11]

### RADAR

je určen pro měření vzdálenosti okolních objektů pomocí radiových vln. Má nejdelší dosah ze všech senzorů. Radar není ovlivněn nepříznivým počasím jako je déšť a sníh. Na obrázku 21 lze vidět, že radar změří nejenom vzdálenost, ale i rychlost nebo čas vypočítaný do srážky (TTC). Byl zde použit radar s dosahem 250 metrů.



Obrázek 21 prostředí vozidla zaznamenané radarem ve VTD

## ULTRAZVUKOVÝ SENZOR

Senzor používá k měření ultrazvukové vlny, které vysílá k objektu. Zvukové vlny jsou mnohonásobně pomalejší, než rádiové a světelné vlny, které jsou u radaru a lidarů. V důsledku toho data dorazí do ultrazvukového senzoru mnohem pomaleji a díky tomu není tolik přesný. Senzor je využívám především pro objekty, které se nacházejí velmi blízko vozidlu. Na obrázku 22 jsou znázorněné signály vysílající ultrazvuk při couvání auta.



Obrázek 22 Ukázka ultrazvukového senzoru ve VTD **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

## 4 SIMULACE VYTVOŘENÉ VE VTD

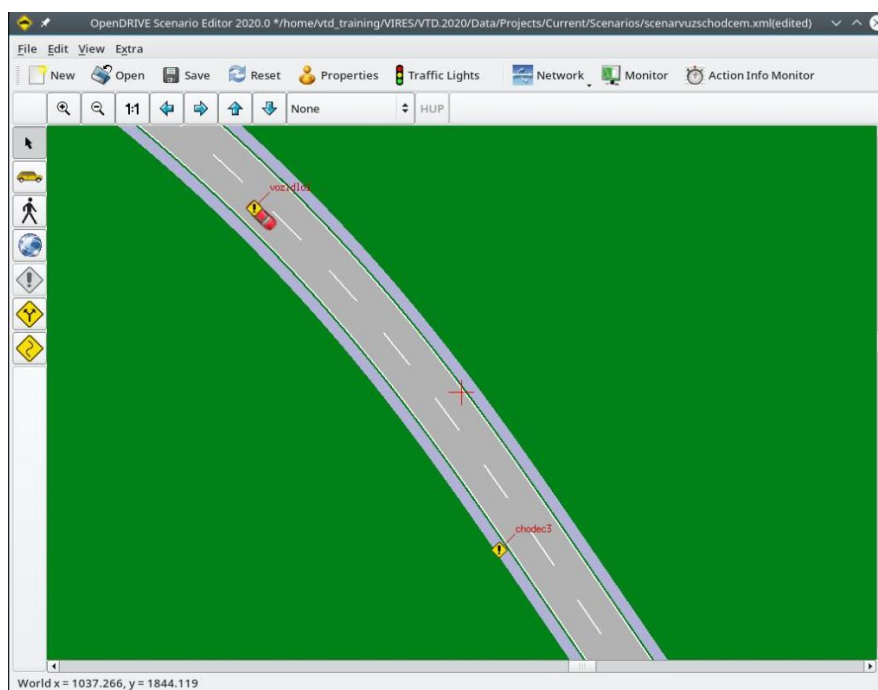
Pro simulace zpracované v této práci byl vytvořen jeden projekt, ve kterém byl vytvořen scénář, v němž jsou vytvořeny všechny scény.

### 4.1 VLIV RYCHLOSTI NA VYHNUTÍ CHODCE

V této ukázce byla nadefinovaná počáteční vzdálenost vozidla 50 metrů od chodce. Chodec, který chce přejít přes silnici je kvůli telefonování nevěšmavý a přehlédne auto. Vejde do vozovky, poté uvidí auto, ale je v šoku, a proto zůstane stát uprostřed cesty. Snaha vozidla je, se chodci vyhnout a nezranit ho. Chodec je nadefinován tak, aby vešel do vozovky 0,5 s po startu simulace. Byl zde použit senzor, který funguje jako kamera a radar. Hodnoty simulace jsou měřeny v čase 1 s.

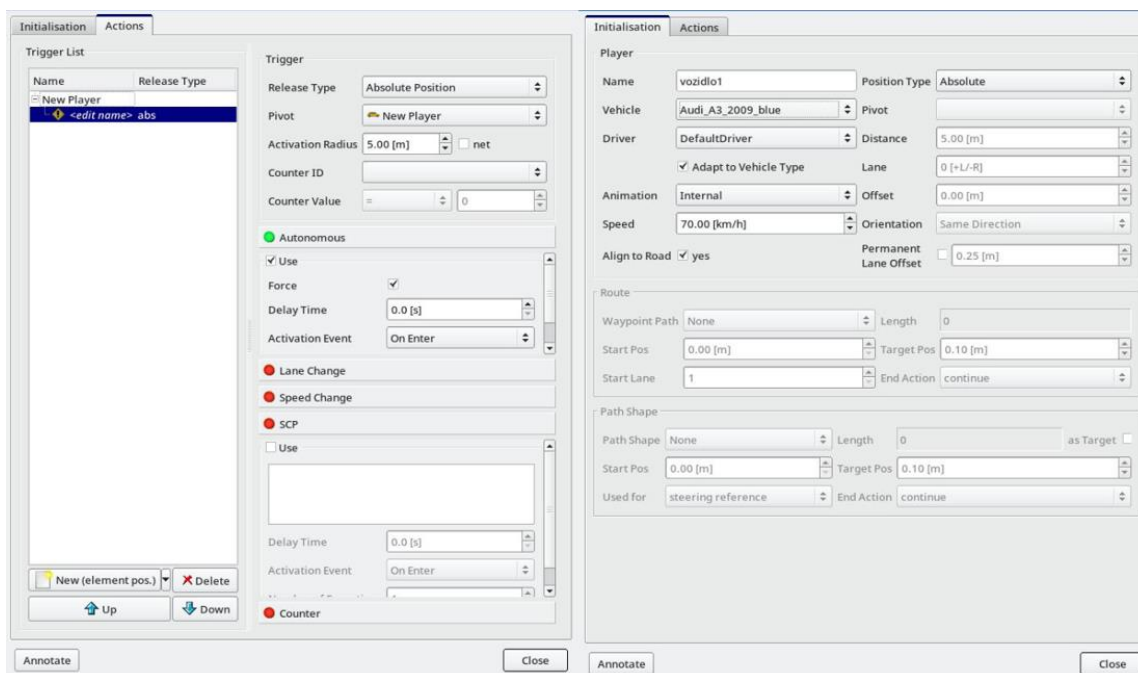
#### Vstupní data:

Vozidlo a chodec byli ve scénáři umístěny dle obrázku 23, Vozidlo bylo umístěno pomocí funkce přidat hráče a kliknutím umístěnou na pozici. Chodem byl stejně umístěn, ale byla použita funkce přidat chodce.



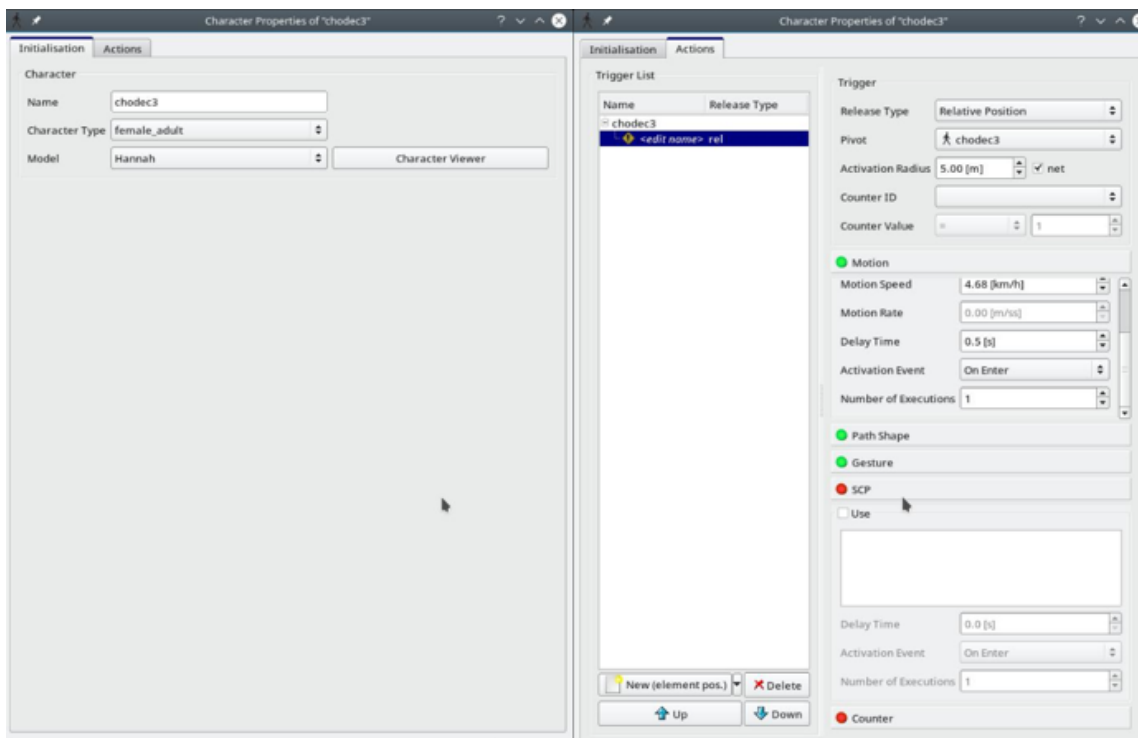
Obrázek 23 rozložení hráčů simulace

Kliknutím na hráče byly nastaveny vlastnosti vozidla. Bylo vybráno vozidlo Audi A3 (obrázek 24) z databáze vozidel a zvolena absolutní pozice. Byla nastavena rychlost (ta se měnila s každou částí simulace). V panelu akce byla zvolena akce s absolutní pozicí, v níž bylo zvoleno autonomní řízení vozidla.



Obrázek 24 nastavení vstupních hodnot vozidla

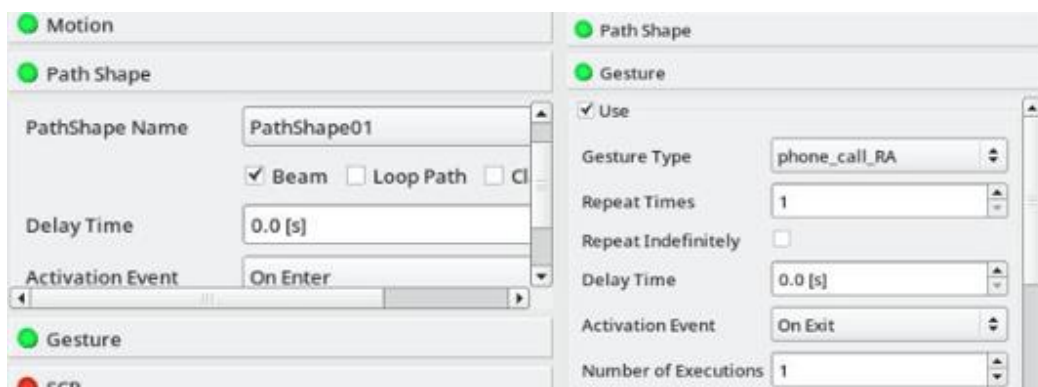
Chodec byl nastaven (obrázek 25) jako dospělá žena, která byla vybrána z databáze. U chodce byla zvolena relativní pozice a nastaven pohyb, konkrétně chůze rychlostí 4,68 km/h a delay time (čas spuštění) 0,5 s.



Obrázek 25 nastavení chodce



Dále byla nastavena křivka, po které se má chodec vydat tak, aby vešel do silnice a gesto telefonování, které je opět vybráno z databáze (obrázek 26).



Obrázek 26 Nastavení chodce-trasa a gesto

#### 4.1.1 1.ČÁST SIMULACE-VOZIDLO JEDOUcí RYCHLOSTÍ 40 KM/H.

U vozidla byla zvolena rychlost 40 km/h a simulace byla spuštěna pomocí tlačítka play v GUI okně. Simulace byla pozastavena v 1 s a byly vyhodnoceny výsledky. Výsledky chodce jsou špatně vidět kvůli budově, a proto byly vyhodnoceny s vypnutým prostředím a vsunuty do pravého horního rohu snímku.



Obrázek 27 snímek vzdálenosti vozidla jedoucí 40 km/h

Výsledky 1.části simulace ukazují (obrázek 27) vzdálenost mezi autem a chodcem 40,7 metrů a čas 3,28 s do střetu.



Obrázek 28 ukázka vyhnutí vozidla chodci v 1.části simulace

Na obrázku 28 lze vidět, že vozidlo má zapnutý ukazatel směru a začíná chodce objíždět zhruba v 10,8 metrech před chodcem, takže se mu podaří vyhnout a ke srážce nedojde. V tomto okamžiku ukazuje čas do střetu 3,62, který je vyšší, než v čase 1 s. Tato skutečnost je dána tím, že auto mírně přibrzdlilo, a proto čas narůstá. Situace je znázorněna pomocí animačního okna a pomocí editoru scénáře.

#### 4.1.2 2.ČÁST SIMULACE-VOZIDLO JEDOUcí RYCHLOSTÍ 50 KM/H.

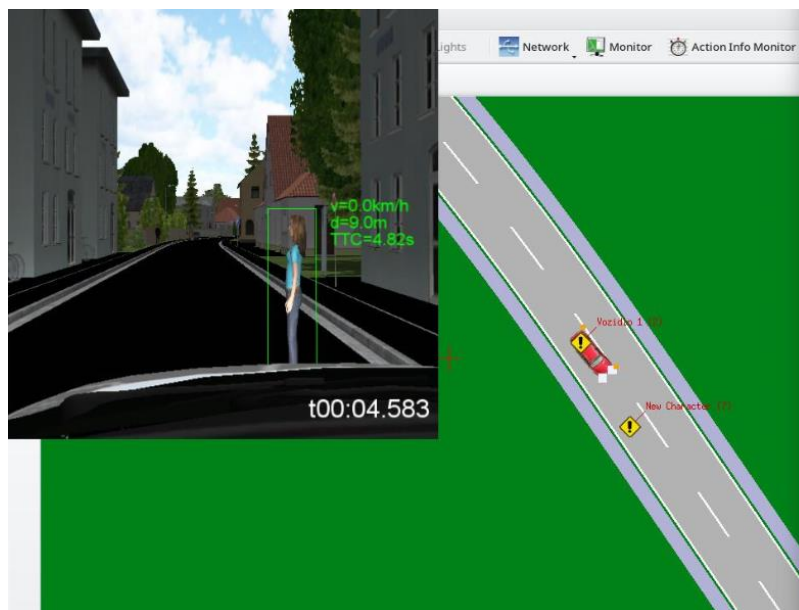
U vozidla byla nastavena rychlost 50 km/h a simulace byla opět spuštěna pomocí tlačítka play v GUI.



Obrázek 29 snímek vzdálenosti vozidla jedoucí 50 km/h



Vzdálenost vozidla (obrázek 29) od chodce byla změřena 38,5 metrů a zbývající čas 2,72 s do střetu vozidla s chodcem. V tomto případě už jsou hodnoty nižší, kvůli vyšší rychlosti. Lze si povšimnout, že vozidlo je trochu blíže chodci oproti obrázku 27.



Obrázek 30 vyhnutí vozidla chodci v 2.části simulace

Na obrázku 30 je ukázáno, že vozidlo se začne vyhybat chodci zhruba v 9 metrech, tudíž ani v tomto případě nedojde ke srážce.

#### 4.1.3 3.ČÁST SIMULACE -VOZIDLO JEDOUČÍ RYCHLOSTÍ 70 KM/H.

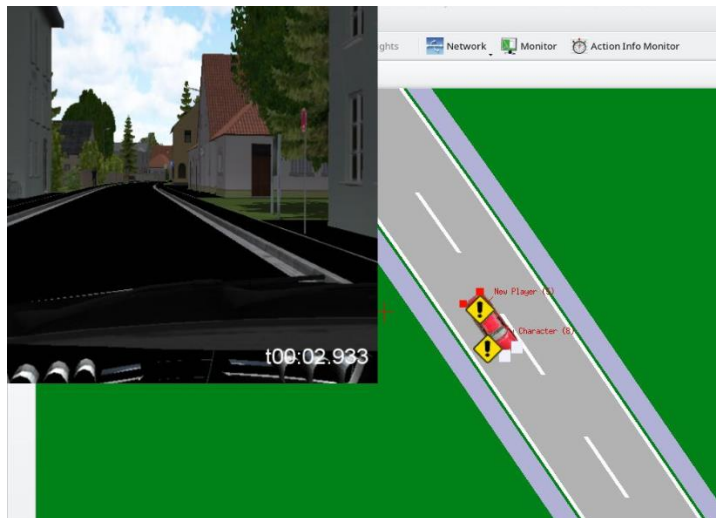
V poslední části simulace byla opět změněna rychlost na 70 km/h a spuštěna pomocí tlačítka play v GUI.



Obrázek 31 snímek vzdálenosti vozidla od chodce jedoucí 70 km/h

V čase měření je (obrázek 31) vzdálenost od chodce 34,3 metrů a čas do srážky je 2 s.

Opět si lze všimnout, že oproti obrázkům 27 a 29 je pozice vozidla velmi blízko chodci.



*Obrázek 32 srážka vozidla s chodcem*

Na obrázku 32 lze vidět, že v tomto případě se vozidlo nedokázalo vyhnout a došlo ke srážce. Na spodní straně obrázku je uveden čas 2,933 s, tudíž měření z obrázku 31, kde je vyhodnocené, že ke srážce dojde za 2 s, se vyplnila. Čas není úplně přesný, záleží totiž na pozastavení simulace, ovšem pro ukázkou je to dostačující.

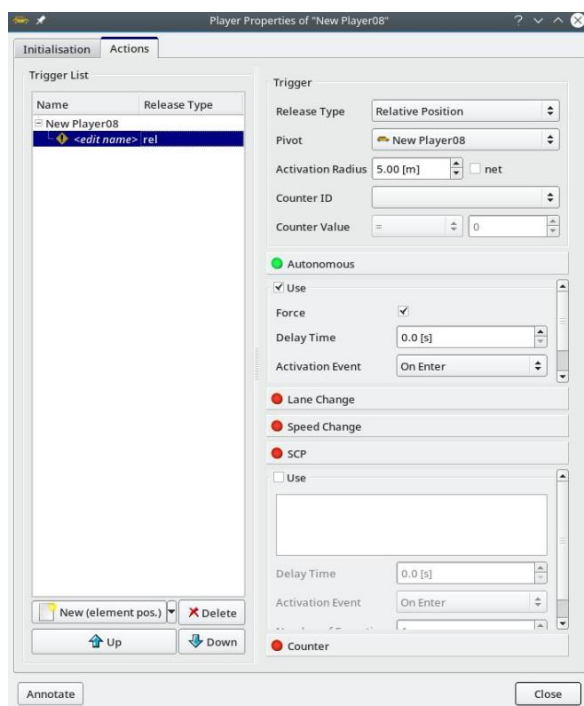
## 4.2 NASTAVENÍ SEMAFORU

Cílem simulace bylo otestovat funkci nastavení semaforů. Byla vytvořena simulace, ve které vozidlo zastavilo na semaforu, na kterém svítila červená barva a poté se rozjelo po rozsvícení zelené barvy. Na obrázku 33 můžeme vidět snímek, na kterém vozidlo stojí na červené barvě. Vozidlo bylo ve scénáři libovolně umístěno na silnici před křižovatkou, kde byly nastaveny semaforey.



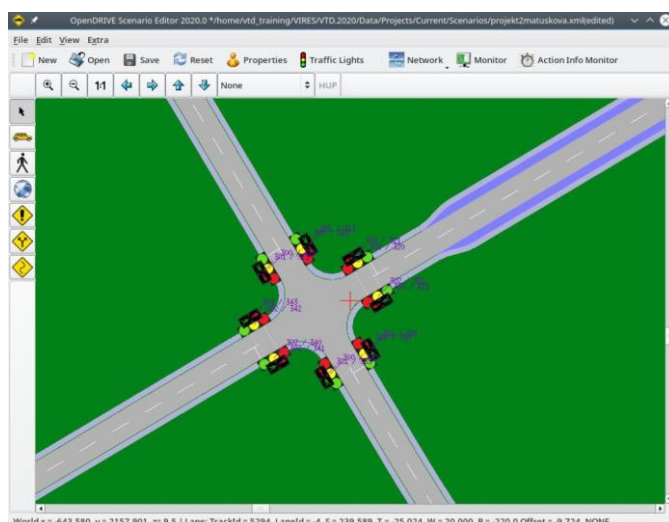
*Obrázek 33 auto stojící na červenou barvu*

U vozidla byla definována relativní pozice a autonomní chování vozidla viz obr. 34



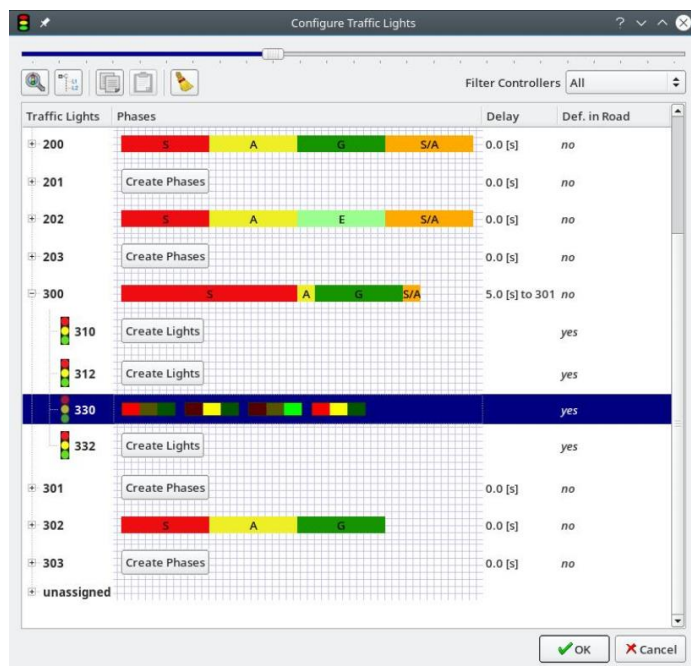
Obrázek 34 nastavení vozidla v simulaci semaforů

Byly využity semaforey předdefinované v editoru scénáře viz obrázky 35.



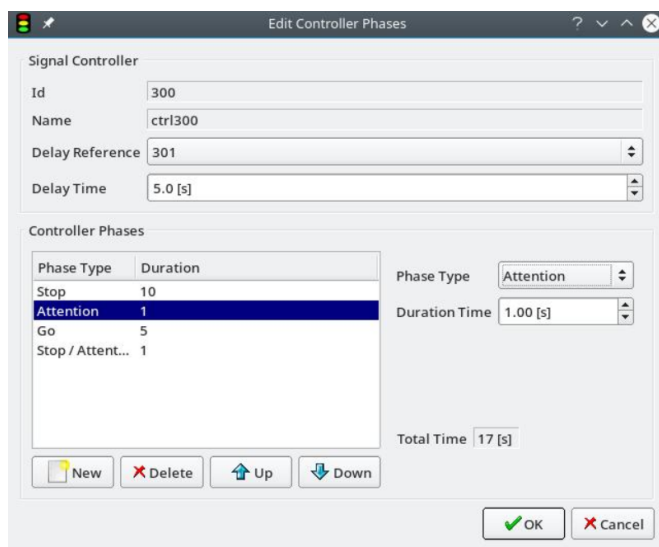
Obrázek 35 semaforey zobrazené v editoru scénářů

Semaforey byly nastaveny v modulu Traffic lights. V ukázce figuruje pouze semafor s označením 300/330 (označen modře na obrázku 36) proto je blíže definovaný pouze tento. Byla nastavena barevná kombinace, která začíná červenou barvou, poté následuje žlutá s červenou, která dává řidiči najevo, že se může připravit k jízdě, zelená a žlutá. Tato kombinace byla zvolena, protože je využívána v České republice.



Obrázek 36 nastavení semaforů

Barvy byly nastaveny v editaci semaforů dle obrázku 37. Zde byly nastaveny i časy intervalů barev. Nejdelší čas byl zvolen u červené barvy, a to z důvodu lepšího otestování zastavení vozidla na tuto barvu. Byl použit čas spuštění 5 s, aby příjezd vozidla vyšel na červenou barvu.



Obrázek 37 nastavení časů světel

V simulaci bylo demonstrováno autonomní chování vozidla při semaforu, které mělo za úkol zastavit při rozsvícení červené barvy a při rozsvícení zelené se opět rozjet.

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo popsat práci se softwary pro virtuální testování autonomních vozidel.

První část bakalářské práce se zabývala rešeršní částí autonomního vozidla, je zde popis vlastností a úrovní, podle kterých se rozlišují.

Druhá část je věnována problematice testování a popisu ADAMS CAR software. Tato část je opět rešeršní. Je zde popsán účel práce s ADAMS CAR a jeho modulů.

Třetí část se zabývá popisem softwaru Virtual test drive, se kterým jsem měla možnost pracovat díky zapůjčení notebooku se softwarem od firmy MSC Software. Bylo popsáno prostředí softwaru a jeho funkce. Byly popsány nástroje, se kterými software může pracovat a jaký jsou možnosti nastavení těchto nástrojů.

V poslední části byly vytvořeny simulace. První simulace se zabývá vlivem rychlosti na vyhnutí chodce, kdy bylo pozorováno vozidlo, jenž se mělo vyhnout chodci. Vozidlo bylo umístěno 50 metrů před chodcem a byly měřeny hodnoty pro 3 různé rychlosti. Z výsledků lze vidět, že vozidlu, které jelo 70 km/h se nepodařilo vyhnout a došlo ke srážce s chodcem. Druhá simulace byla zaměřena na demonstraci nástroje semaforu, přičemž byl nastaven semafor tak, aby při příjezdu vozidla svítila červená barva a auto muselo zastavit.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] CZECH, Piotr, Katarzyna TUROŇ a Jazek BARCIK. AUTONOMOUS VEHICLES: BASIC ISSUES. *Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej* [online]. Silesian University of Technology, 2018, **100**, 15-22 [cit. 2021-03-14]. ISSN 0209-3324. Dostupné z: doi:10.20858/sjsutst.2018.100.2
- [2] What is an Autonomous Car? *Synopsys* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.synopsys.com/automotive/what-is-autonomous-car.html>
- [3] BÖHM, Jiří. Autonomní vůz na českých silnicích? Do 10 let. In: *O robotice* [online]. 16.prosince 2020 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.orobotice.cz/rozhovor-2/>
- [4] PĚT STUPŇŮ K AUTONOMNÍMU ŘÍZENÍ. ŠKODA AUTO a.s. [online]. 2018 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/inovace-cs/pet-stupnu-k-autonomnimu-rizeni/>
- [5] DUPUIS, Marius, Luca CASTIGNANI a Keith HANNA. *Virtual Test Drive 2020* [online]. 2020 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.mscsoftware.com/Virtual-Test-Drive-2020>
- [6] *Adams Car Integration with Simulation Process and Data Management (SPDM)* [online]. 17.května 2016 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://simulatemoore.mscsoftware.com/adams-car-integration-with-simulation-process-and-data-management-spdm/>
- [7] *Adams car brochure* [online]. 2020 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.mscsoftware.com/product/adams-car>
- [8] *VTDUserManual* [online]. Německo, 2017 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: [www.vires.com](http://www.vires.com)
- [9] *HandoutROD\_Light*. VIRES.
- [10] HALAŠ, Rostislav. Autonomní auta – jak otestovat 140 milionů kilometrů v praxi? In: *Vyvoj Hw* [online]. 10.Duben 2017 [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/autonomni-auta-jak-otestovat-140-milionu-kilometru-v-praxi.html>
- [11] DUPUIS, Marius, Luca CASTIGNANI a Keith HANNA. *Virtual test drive 2020 ebook*. <https://www.mscsoftware.com/Virtual-Test-Drive-2020>.
- [12] *VIRES Virtual Test Drive (VTD) Datasheet: Complete tool-chain for driving simulation applications* [online]. [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.mscsoftware.com/product/virtual-test-drive>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

<i>VTD</i>	[-]	Virtual test drive
<i>AV</i>	[-]	Autonomní vozidlo
<i>3D</i>	[-]	Trojrozměrný rozměr
<i>ADAS</i>	[-]	Asistenční systémy řidiče
<i>RDB</i>	[-]	Autonomní vozidlo
<i>GUI</i>	[-]	Grafické uživatelské rozhraní
<i>ROD</i>	[-]	Trojrozměrný rozměr
<i>s</i>	[-]	sekunda
<i>TTC</i>	[-]	Čas do srážky

## SEZNAM PŘÍLOH

Videa simulací

Simulace 1-1.část

Simulace 1-2.část

Simulace 1-3.část

Simulace 2